

УДК 550.836:556.388(476.2)

А.В. Унукович<sup>1</sup>, В.И. Зуй<sup>2</sup>, П.Б. Цалко<sup>1</sup>**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

*В работе приведены результаты экономической эффективности использования геотермальных ресурсов территории Беларуси, в этой связи проанализированы возможности применения доходного метода, учитывающего будущие ожидания относительно инвестиций, текущих затрат и цен, включающих в себе рыночный аспект. Показатели экономической ценности геотермальных ресурсов определены в зависимости от глубины скважин, площади зданий и других объектов. Выполненные расчеты оценки экономической эффективности использования геотермальных ресурсов в Беларуси показывают, что вложение инвестиций в их освоение, может быть вполне окупаемым как по чистому доходу, так и по чистому дисконтированному доходу. Величина окупаемости инвестиций находится в тесной зависимости от глубины скважин и отапливаемой площади. При этом использование геотермальной энергии обеспечивает экономию традиционных видов топлива в среднем 20 долларов США в расчете на 1 Гкал.*

**Введение**

Геотермальная энергия представляет собой тепло накопленное в горных породах и флюидах насыщающих их поры, трещины или каверны (вода, рассолы, нефть, природный газ и др.). Геотермальную энергию используют путем отбора тепла из геотермальных горизонтов, при этом ее восполнение происходит естественным путем.

Геотермальные ресурсы – это один из немногих источников возобновляемой энергии, использование которой может осуществляться непрерывно. В отличие от неравномерного распределения месторождений нефти, газа и каменного угля, геотермальная энергия имеется в любом месте планеты. По мере истощения традиционных видов топлива и роста расходов на его добычу возрастает ее роль как возобновляемого подземного источника.

Высокая зависимость Беларуси от импорта природного газа является особенностью экономики страны и отражается на затратах по выработке энергоресурсов, в частности – тепловой энергии. Это требует ускоренного освоения альтернативных видов возобновляемой энергии, в том числе и геотермальной, повсеместно имеющейся в недрах страны.

Масштабы расходов традиционных топливных ресурсов на теплоснабжение жилищно-коммунальных и промышленных объектов велики. Они составляют более половины всего котельно-печного топлива. При этом эффективность котельных и печей по сравнению с ТЭЦ, где сжигается то же топливо, очень низка. Отопительные установки, использующие геотермальные ресурсы, могут значительно улучшить эффективность процесса получения тепла. Особенно это относится к тем случаям, когда здания и сооружения различного назначения рассредоточены и находятся в сельской или пригородной местности, удалены от традиционных теплотрасс.

В западных странах стимулом к массовому внедрению, например, тепловых насосов послужила череда энергетических кризисов 70-х – начала 80-х годов. К 2010 году прямое использование геотермальных ресурсов велось в 78 странах при суммарной установленной мощности геотермальных установок до 50 ГВт. К 2015 же году ожидается увеличение выработки тепла до 250 Тераватт в год. При этом теплонасосными установками выработано около 30% от этого количества [1]. Первые станции и установки по использованию ресурсов как высокоэнтальпийной (температура флюида более 150 – 180 °С), так и с низкой температурой подземных горизонтов.

**Низкоэнтальпийные геотермальные ресурсы**

В последние годы в мире построены сотни тысяч, а по отдельным данным – более миллиона [1] геотермальных установок по использованию низкоэнтальпийных геотермальных ресурсов в мире на базе тепловых насосов. При этом темпы прироста их установленной тепловой мощности заметно увеличились (в среднем около 12.2% в год). Это достигнуто благодаря развитию рынка тепловых насосов в ряде стран мира, позволяющих эксплуатировать геотермальные месторождения даже с

температурой менее 10°C, что составляет около 50% установленной тепловой мощности геотермального потребления в настоящее время.

Тепловые насосы – экологически чистые и компактные устройства. В условиях удорожания топливных ресурсов, увеличения тарифов на электроэнергию и роста затрат на традиционные способы теплоснабжения, они представляют альтернативную технологию для отопления и горячего водоснабжения. Косвенно экономическая целесообразность использования низкоэнthalпийной геотермальной энергии подтверждается тем фактом, что в соседних странах, находящихся в аналогичных природных условиях, количество тепла, получаемого при использовании отопительных установок, основанных на принципах тепловых насосов, неуклонно растет. Так, в Швеции используются 4460 МВт мощностей геотермальных установок и они вырабатывают 12 584,6 ГВтчас/год тепловой энергии, в Норвегии же 3,300 МВт и 7000,6 ГВтчас/год, соответственно [2]. В Швеции по состоянию на весну 2010 г. действовало около 230 тыс. геотермальных установок и около 25 тыс. новых геотермальных установок вводится в работу ежегодно. Они вырабатывают около 12 ТВт/час тепловой энергии, обеспечивая около 15% потребности страны в тепловой энергии. В Норвегии общее количество геотермальных установок оценивается в 26 000 при установленной тепловой мощности 3300 МВт. Более 90% их них используют схему отбора тепла с помощью скважинных теплообменников без гидравлической связи с водоносными пластами. Около 350 крупных теплонасосных установок со скважинными теплообменниками используются для отопления больших объектов – общественных и промышленных зданий, а также – многоквартирных домов. Одна из наиболее крупных геотермальных установок обеспечивает отопление госпиталя 137 000 м<sup>2</sup> университета в Акерсхусе (Akershus). Установка использует 228 скважин глубиной по 200 м со скважинными теплообменниками [2]. В Дании действуют около 20 000 геотермальных установок с общей установленной мощностью 200 МВт, они вырабатывают около 2500 ТДж тепловой энергии [3]. В Польше действует около 11000 геотермальных установок и несколько крупных геотермальных станций общей тепловой мощностью 281,05 МВт при выработке тепла 1,501.1 ТДж/год [4]. Наконец, в маленькой Эстонии действовало по состоянию на 2008 год 4874 геотермальные установки с общей тепловой мощностью 63 МВт, при этом вырабатывалось около 98,9 ГВтчас/год [5], температура же в платформенном чехле здесь в целом ниже чем в Беларуси. Аналогичную информацию можно привести также по другим странам Европы и мира в целом.

Объем же выработанного тепла за счет использования геотермальных ресурсов эквивалентен ежегодной экономии 307,8 миллионов баррелей (46,2 млн. тонн) нефти и предотвращает выброс в атмосферу 46,6 млн. тонн углерода и 148,2 млн. тонн углекислого газа [2]. Эти огромные цифры говорят о возможности экономии потребления сжигаемых видов топлива и о снижении при этом его вклада в развитие парникового эффекта, приводящего к негативному изменению климата на планете

### Использование геотермальных ресурсов в Беларуси

На конец 2010 года в Беларуси действовало около 100 геотермальных установок с установленной мощностью около 5,5 МВт, положение основных действующих, проектируемых, строящихся и намечаемых к строительству геотермальных установок приведено на Рис.1.

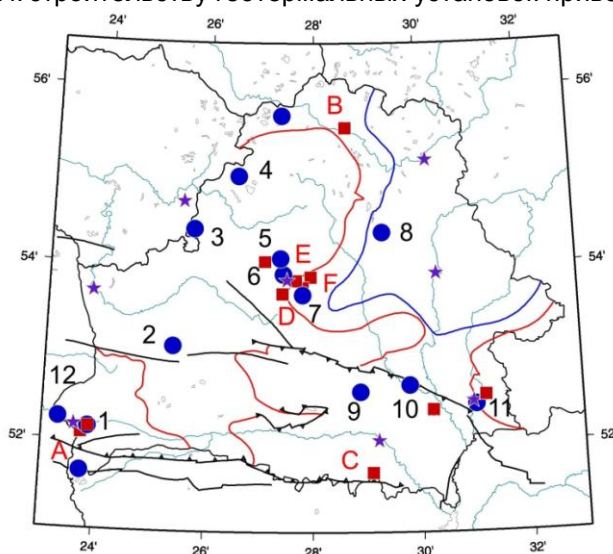


Рисунок 1 – Расположение основных действующих, проектируемых и намеченных для создания геотермальных установок в Беларуси.

Красными квадратами на рисунке отмечены действующие, а голубыми кружками – проектируемые и строящиеся установки, соответственно. А – водозабор Мухавецкий, В – речной водозабор в Новополоцке, С – пограничный и таможенный переход Новая Рудня в Ельском районе, D – водозабор Вицковщина, Е – канализационная станция Новый Двор, F – водозабор Фелицианово, 1 – геотермальная станция тепличного комбината «Берестье» (введена в пробную эксплуатацию в феврале 2010 г.), 2 – малое предприятие в Слониме, 3 – пограничный переход Каменный Лог, 4 – база отдыха на оз. Швакшты, 5 – жилой дом в дер. Карнютки, 6 – спорткомплекс юношеского олимпийского резерва в Минске, 7 – баня, 8 – придорожное кафе, 9 и 10 – экспериментальные теплообменники в скважинах Борисовская 504 и Березинская 1, соответственно, 11 – сооружения гребного канала в Гомеле, 12 – вахтовый городок геологов в дер. Орля, Каменецкого района.

**Геотермальная станция «Берестье»** является пилотной экспериментальной станцией мощностью 1 МВт. На ней, по сути отрабатывается технология строительства других подобных установок в республике. К отопительному сезону 2011/2012 гг. она вошла в постоянную эксплуатацию. В летнее время станция не используется. Для получения же экономических параметров необходима ее эксплуатация, как минимум, в течение 1 года. Затраты на ее создание оцениваются в 4,3 млрд. руб по состоянию на январь 2010 г. Согласно проекту срок окупаемости составляет 5,7 лет. Она позволяет отапливать 1,5 га теплиц в течение года. Расчетная экономия природного газа – порядка 1 млн. м<sup>3</sup>/год. За истекшее время использование в отладочном режиме геотермальной станции рентабельность производства составила 26,5%. При сохранении этих параметров, срок окупаемости может снизиться до 4,1 года.

**Геотермальная установка пограничного и таможенного перехода Новая Рудня** – согласно информации Мозырской таможни по состоянию на весну 2008 года, полученной по телефону, стоимость выработки 1 Гкал тепла этой установкой оценивалась в 90 тыс. рублей. В этот же период газовые котельные Мозыря отпускали ее по цене 160 тыс. рублей за Гкал. Экономический эффект от ее использования очевиден. Финансирование строительства установки выполнено из двух источников – бюджета Союзного Государства (Российская Федерация – 70%, Республика Беларусь – 30%). Стоимость комплекта теплового насоса составила около 85 тыс. долларов США. Закупка произведена в 2005 г.

### **Экономика геотермального теплоснабжения по данным зарубежных стран**

Методы экономической оценки использования низкоэнтальпийной геотермальной энергии в геолого-геотермических условиях Беларуси не разработаны. Поэтому рассмотрим наиболее характерные примеры по данным зарубежных источников.

**Общие замечания.** Производство энергии за счет использования подземного тепла, как и в случае использования природного газа, нефти, мазута, каменного угля, гидроэнергии и ядерных источников является капиталоемким. В целом необходимы значительные первоначальные затраты перед тем как будет получен доход от продажи выработанной энергии. Поскольку транспортировка геотермального флюида на большие расстояния затруднена, то геотермальные месторождения могут быть эффективно использованы при наличии в непосредственной близости от них потребителей тепла. После освоения геотермального месторождения эксплуатационные затраты невысоки по сравнению со стоимостью строительства геотермальной станции. Обычно считают, что такая составляющая как стоимость «топлива» для геотермальной станции отсутствует, что непременно присутствует в затратах при использовании углеводородного топлива.

Расходы на производство тепла за счет геотермальной энергии и стоимость бурения геотермальных скважин (при вертикальных схемах отбора подземного тепла) колеблются в значительной степени от одной страны к другой. Экономическая целесообразность использования подземного тепла в существенной степени зависит от изменяющихся цен на природный газ, каменный уголь, торфобрикеты, дрова и другие виды традиционного топлива, используемого для этих целей в каждой конкретной местности.

В настоящее время в соседних странах со сходными геолого-геотермическими условиями действует ряд геотермальных установок. В некоторых случаях по ним опубликованы краткие технико-экономические данные, как правило, без детализации.

Сравнительный анализ стоимости производства тепловой энергии, получаемой за счет сжигания мазута, пропана, природного газа, использования электроэнергии и тепловых насосов приведен в таблице 1. Представленные данные основаны на американском опыте эксплуатации геотермальных установок.

Таблица 1. Сравнительные данные по стоимости тепла, выработанного за счет разных энергоисточников.

Источник получения тепла	Цена источника тепла	Стоимость долл. За 10 КДж
Мазут	1.05 долл./галлон	9.55
Пропан	1.20 долл./галлон	16.72
Природный газ	0.60 долл./галлон	7.53
Электроэнергия	0.07 долл./КВтч.	20.51
Тепловые насосы	-	6.18

Примечание: 1 – Американский галлон = 3.78543 дм<sup>3</sup>,  
2 – Стоимость, приведенная в оригинале за 1 миллион Британских тепловых единиц (1 000 000 БТЕ = 9486 Дж.), пересчитана на 10 килоджоулей.

Из таблицы видно, что при прочих равных условиях стоимость тепловой энергии, выработанной посредством тепловых насосов, оказывается наиболее низкой, поскольку не требуется платить за подземное тепло

В целом, практика развитых стран показывает, что использование возобновляемого ресурса – геотермальной энергии экономически выгодно и не приводит к заметному загрязнению воздушного бассейна и окружающей среды в целом в отличие от традиционных котельных, где при сжигании органических видов топлива происходит выброс в атмосферу парниковых газов, копоти и пыли. Имеет место значительная экономия природного газа. В приведенных цифрах не учтен экономический эффект от снижения выброса обычными котельными дымовых газов, загрязняющих атмосферу и приводящих к развитию парникового эффекта и возникновению кислотных дождей.

Затраты по разработке разделяют на две основные позиции - стоимость геотермальной станции и стоимость бурения и оборудования скважин (либо скважины). Для прямого использования термальных вод затраты на бурение скважин составляют порядка 10–50% от стоимости всего проекта. В результате, затраты на геотермальный проект в существенной степени зависят от существующей структуры цен на буровые работы. В случае использования старых, ранее пробуренных для других целей скважин, возможно снизить затраты на получение термальных вод из проектных горизонтов на 50–60 %.

**Примеры затрат и экономика небольших отопительных систем.** Приведем примеры затрат, основанных на зарубежном опыте, на создание отопительных систем на базе тепловых насосов. Стоимость строительства геотермального отопления стандартного жилого дома на одну семью для климатических условий Германии зависят от количества одновременно подключаемых домов и с их увеличением сокращаются. Эксплуатационные же расходы после монтажа системы значительно ниже, чем для традиционных систем отопления.

Тепловая мощность	14кВт
1 дом	35 000 Евро
от 2 до 5 шт	25 000 Евро за дом
более 6 шт	20 000 Евро за дом

По данным компании “Geotermische Vereinigung e.V.”, Германия - стоимость геотермальной системы со скважинным оборудованием, производящей тепло посредством теплового насоса 39.8 кВт, из них 9.9 кВт электропривод компрессора, составляет 28 000 Евро. Ежегодные затраты составляют только 51% по сравнению с отоплением природным газом. Затраты для поддержания (проверки) системы в домах на одну семью весьма незначительны:

Мощность геотермальной установки с тепловым насосом	15 кВт
при оборудовании 1 дома	35 Евро
при оборудовании от 2 до 5 домов	25 Евро/дом
при оборудовании более 6 домов	20 Евро/дом

Немецкие специалисты подсчитали сравнительные затраты при использовании газовой котельной и геотермальной установки для образовательного центра Schönstuhl, Германия, которая приводится в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика расходов при использовании отопления/(кондиционирования) за счет газовой котельной и при использовании геотермальной энергии

	Газовый котел	Геотермальная скважина
	Нужна холодная вода	Тепловой насос
Производство тепла	100 000 кВтч/год	100 000
Потребность в газе (95%)	10 526 м <sup>3</sup> /год	--
Цена газа (40 цент/ м <sup>3</sup> )	4 210 Евро/год	--
Потребление электроэнергии	--	25 000 кВтч/год
Цена электроэнергии (8 цент/кВтч)	--	2 000 Евро/год
Плата за мощность	250 Евро/год	60 Евро/год
Сумма	4 460 Евро/год	2 060 Евро/год
Кондиционирование (холод)	30 000 кВтч/год	30 000 кВтч/год
Компрессор	10 000 кВтч/год (электро)	
Вентилятор	500 кВтч/год (электро)	
Расход на вспомогательный насос, насос (0.4 кВт)	400 кВтч/год (электро)	400 кВтч/год (электро)
Сумма	872 Евро/год	32 Евро/год
<b>Всего</b>	<b>5 332 Евро/год</b>	<b>2 092 Евро/год</b>

Следует отметить, что расходы на использование геотермальной энергии частично инвестируется правительством земли Бавария.

Стоимость энергии:

Цена газа 40 центов/м<sup>3</sup>

Электроэнергии 8 центов/кВтч

При мощности на:

Отопление 50кВт

Охлаждение (кондиционирование) 30 кВт

Всего энергии 100 000 кВтч/год при использовании системы 2000 ч/год

Потребность в холоде (кондиционирование):

30 000 кВтч/год при использовании системы 1000 час/год

**Вывод:** При использовании геотермальной энергии затраты на отопление (кондиционирование) составляют менее 50 % от затрат в случае использовании газового котла.

По российским данным в Дагестане стоимость 1 гигакалории геотермального тепла в 1,5 – 2 раза ниже, чем тепла, вырабатываемого котельными.

Кратко рассмотрим другой пример на усредненных показателях по данным компании **Hütte Bohrtechnik GmbH** ([www.casagendegroup.com](http://www.casagendegroup.com)) при модернизации жилого дома:

Отапливаемая площадь

180 м<sup>2</sup>,

Отопительная нагрузка

32.0 кВт/год,

Тепловой насос

NIBE Fighter 1110-10 (Швеция),

Затраты

780 € в год,

*Расшифровка текущих затрат при сравнении использования теплонасосной установки и отопления жидким топливом / газом.*

**Сравнение затрат** при расходе тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение для дома на одну семью:

Установка на 25 000 кВтч (соответствует примерно 2500 литрам жидкого топлива или 2500 м<sup>3</sup> природного газа) с зондами-теплообменниками и системой отопления в полу (батареи с рабочей температурой 50 °C).

**Отопление жидким топливом / газом:**

25.000 кВт х 4,6 цента за киловатт =

1 150 €,

Налог на газовый счетчик 15 € в месяц

180 €,

Расходы на чистку дымохода и техобслуживание

175 €

Всего

1 505 €.

0,95 (95% к.п.д. к.п.д. газового отопления)

Производственные затраты на отопление

1 584 €.

**Отопление тепловым насосом:**

Установка такой же мощности на 25 000 кВтч с зондами-теплообменниками и системой отопления в полу (батареи с рабочей температурой 50 °С).

*Теплонасосная установка 11,7 кВт и 2,5 – 3,0 кВт потребляемой электрической мощности.*

Продолжительность работы теплового насоса для выработки 25 000 кВтч:

25 000 кВтч / 11,7 кВт = 2100 часов работы

Потребляемая электрическая мощность (показания счетчика):

2100 час x 3,0 кВт = 6300 кВтч

Потребление электроэнергии:

6300 кВтч x 10 центов/кВтч по тарифу для теплового насоса = 630 €

Налог на электросчетчик: 75€

Производственные затраты на тепловой насос: 705 €

---

**Экономия средств по сравнению с отоплением жидким топливом / газом 879 €**

Использование подземного тепла, биомассы и гидроэнергии является сценарием, привлекательным не только экономически, но также дает значительный вклад в безопасность энергоснабжения, но и обеспечивает снижение выброса углекислого газа в атмосферу [6]. В Германии (параграф 28 Закона о возобновляемой энергии) с 1 января 2012 г. установлен новый тариф 0,25 Евро/кВтч на всю геотермальную энергию и 0,05 Евро/кВтч за петротермальную энергию (тепло сухих горных пород) [6].

Явным свидетельством относительно интереса к использованию низкоэнтропийной геотермальной энергии является ожидаемый рост продаж тепловых насосов в США. Если в 2011 г. продано немногим менее 150 000 насосов, то ожидается, что к 2017 г. эта цифра возрастет до 326 000, а общая мощность таких геотермальных установок в мире возрастет на 179% [6].

**Экономическая оценка использования низкоэнтропийной геотермальной энергии в Беларуси**

В Беларуси существующие геотермальные установки используют до настоящего времени только низкоэнтропийные (низкотемпературные) ресурсы геотермальной энергии. Одним из факторов, сдерживающих развитие геотермальной энергетики в стране, является как отсутствие промышленного изготовления тепловых насосов, так и другого геотермического оборудования, а также – отсутствие методики оценки экономических параметров использования подземного тепла, в том числе и оценки сроков окупаемости подобных проектов. Одновременно, растет понимание того, что основными преимуществами использования подземного тепла перед другими видами энергии могут быть следующие: это – значительные ресурсы; это – возобновляемый вид энергии; использование геотермальной энергии не приводит к загрязнению окружающей среды и способствует снижению парникового эффекта; нет расхода традиционного топлива.

В современных условиях геотермальная энергия используется в стране в основном для отопления. В экономическом отношении для обеспечения потребностей в тепле малых и средних потребителей они могут конкурировать с использованием невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов [7].

По теплонасосным геотермальным установкам, эксплуатируемым на протяжении ряда лет в Беларуси, точные сведения экономического характера отсутствуют. Одной из причин этого является то, что их проектами не были предусмотрены приборы учета потребленной тепловыми насосами электроэнергии, с одной стороны, и количества выработанного тепла – с другой. Не всегда доступны сведения о реальных затратах, сделанных на закупку импортного геотермического оборудования, на монтаж, наладку и обслуживание этих установок. По коттеджному строительству такие данные, как правило, недоступны. Всё это не позволило выполнить расчеты количественных технико-экономических показателей по эксплуатируемым теплонасосным установкам.

На всей территории Беларуси выявлены геотермальные ресурсы [8, 9], однако, наиболее благоприятным регионом для их использования является Припятский прогиб. Основным фактором, сдерживающим их использование является высокая минерализация подземных рассолов.

Рассматривая тепловую энергию недр как полезное ископаемое необходимо определить его количественную, качественную, экономическую и социальную значимость. В этой связи важным представляется разработка основной концепции для геотермальных ресурсов территории страны с точки зрения определения экономической оценки их использования. В качестве основного показателя, характеризующего геотермальный ресурсный потенциал определенной территории, применяется средняя плотность геотермальных ресурсов, выраженная в тоннах условного топлива

(т.у.т.) в расчете на квадратный метр территории. В мировой практике для расчета данного показателя применяется ряд методик [11, 12].

### **Методика оценки экономической эффективности использования Геотермальной энергии в Беларуси**

Экономическая ценность при использовании геотермальных ресурсов в условиях Беларуси определена как ожидаемая величина чистого дисконтированного дохода [13, 14], которую можно получить в результате использования этих ресурсов в течение 25 лет. При этом их стоимость рассчитана методами имитационного моделирования установки оборудования, бурения скважин и проведения монтажных работ и исходя из имеющегося практического опыта других стран (Западной и Восточной Европы, России, Украины и др.). Экономическое обоснование использования геотермальных ресурсов предполагает также изучение показателей технического и экономического потенциала с учетом имеющейся технической базы, экономической ситуации и задач по развитию использования геотермальной энергии.

Важны исследования по оценке технологических показателей, характеризующих процесс извлечения геотермального тепла из недр. Это относится к производительности геотермальных установок, планируемой потребности в тепле за месяц и отопительный период по годам использования, расходов на электроэнергию, обустройства территории, влияние на экологическое состояние окружающей среды. Следовательно, экономическая оценка геотермальных ресурсов предполагает обоснование капитальных вложений и эксплуатационных (текущих) расходов, прогнозируемой стоимости тепла исходя из сложившихся цен на тепловую энергию на мировом рынке, показателей народнохозяйственной и коммерческой эффективности использования подземного тепла.

При определении объемов капитальных вложений и эксплуатационных затрат использовали данные, приведенные в литературных и других источниках. В состав капитальных вложений входит стоимость приобретения и установки тепловых насосов и другого оборудования, включая его закупку, бурения скважин и выполнение монтажных работ. Например, по данным компании AETNA Energiesysteme GmbH, г.р. Wildau, Германия - стоимость теплового насоса оценивается в среднем исходя из 450 – 500 Евро на каждый киловатт тепловой мощности, Стоимость скважинного теплообменника (СТО) из полиэтилена оценивается в 6 – 8 Евро за метр длины, цементация скважины – от 6 до 15 Евро/м, наземные подсоединения, колодцы, коллекторы от 10 до 20 Евро за метр скважинного теплообменника. Бурение скважин под СТО в Германии колеблется от 20 до 60 Евро/м. Более низкая цена соответствует более низкому качеству работ, а более высокая – высокому качеству при сроке эксплуатации системы более 20 лет (письмо AETNA Energiesysteme от 26.03.2004).

Как видно из приведенных в таблице 3 данных, объемы капитальных вложений по установке тепловых насосов колеблются в зависимости от размера отапливаемой площади зданий и глубины скважин. При глубине скважин до 25 м и размера здания по отапливаемой площади до 100 м<sup>2</sup> потребность в капитальных вложениях составляет 19 870 долларов США, а при глубине скважины 50м и размере здания по отапливаемой площади 450–500 м<sup>2</sup> – 28 258 долларов США. Увеличение глубины скважин для отбора геотермальной энергии в 2 раза, увеличивается потребность в капитальных вложениях на 22%, что снижает соответственно экономическую эффективность используемого геотермального оборудования. При этом в стоимость установки тепловых насосов включаются расходы на проектно-изыскательские работы и проведение природоохранных мероприятий.

В состав эксплуатационных затрат включаются расходы, связанные с потреблением электроэнергии, и прочие текущие расходы на обслуживание и ремонт оборудования. Так, по данным таблицы 3 стоимость эксплуатационных затрат в зависимости от размера отапливаемой площади здания составляет от 480 (475 + 5) до 2285 (2260 + 25) долларов США в год.

Расчет показателей экономической эффективности использования геотермальных ресурсов включает также определение годовой стоимости произведенного тепла (*NSR*), чистого потока реальных денег (чистой прибыли) (*NCF*), чистой дисконтированной стоимости потока реальных денег (чистой дисконтированной прибыли) (*NPV*), индекса рентабельности капитальных вложений (*PI*), внутренней нормы рентабельности (*IRR*) и срока окупаемости капиталовложений (*PP*).

Стоимость произведенного тепла (товарной продукции) (*NSR*) рассчитана исходя из потребности в тепле за отопительный период (7 месяцев), тепловой мощности насосов и цены, сложившейся на Европейском рынке (79,38 долл./Гкал) [13]. Так, стоимость тепла за отопительный период в зависимости от размера отапливаемой площади здания может изменяться от 1 137 до 6 076 долларов. Приведены чистые потоки реальных денег, которые могут быть получены в течение 25 лет

использования геотермальных ресурсов, а также указаны нынешние стоимости ( $PV$ ) этих потоков при предельной ставке освоения, равной 10 %, т.е. дисконтированные потоки реальных денег ( $NPV$ ) при  $r=10\%$ , могут изменяться в зависимости от размера отапливаемой площади в пределах 5 963 – 4419 долларов США.

Следует также отметить, что при экономической оценке использования геотермальных ресурсов предусмотрены разовые инвестиции, поэтому для расчета чистой дисконтированной прибыли ( $NPV$ ) при 10 % ставке дисконта использована следующая формула [13]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n NCF_t (1+r)^{-t} - I_0,$$

где  $I_0$  – первоначальные капитальные вложения, которые осуществляются единовременно на момент начала освоения геотермальных ресурсов.

Индекс рентабельности инвестиций рассчитан по формуле:

$$PI_0 = \frac{NPV}{I_0}.$$

Абсолютная величина чистой дисконтированной стоимости потока реальных денег зависит не только от количества используемого геотермального тепла для отопления, текущих затрат на обслуживание оборудования, но и от предельной ставки, или ставки дисконта, которая принимается в зависимости от риска использования этой энергии. При увеличении риска ставка дисконта может быть, естественно, увеличена.

Точное значение нормы дисконта  $r$ , при котором  $NPV$  принимает нулевое значение, по определению, представляет собой внутреннюю норму прибыли ( $IRR$ ), которая определена по формуле: [13]

$$IRR = r_1 + (r_2 - r_1) \frac{NPV_1}{NPV_1 + NPV_2}.$$

Период окупаемости капитальных вложений определен по оценке накопленной чистой дисконтированной стоимости потока реальных денег и составляет: по накопленному чистому доходу от 8,5 до 17,5 лет в зависимости от размера отапливаемой площади здания ( $75 - 475 \text{ м}^2$ ) и глубины скважин (25 – 50 м). При увеличении глубины скважин в 2 раза срок окупаемости капитальных вложений, естественно, увеличивается и составляет от 9,5 до 19,8 лет соответственно. Минимальный срок окупаемости капитальных вложений, направленных на использование геотермальной энергии, наблюдается при малой глубине скважин (25м).

Эффективность использования геотермальных ресурсов определена на основе расчетных данных и при условии, что геотермальная энергия будет использоваться для теплоснабжения отдельных зданий. Вместе с тем следует отметить, что указанные расчеты выполнены на основе стартовых капитальных и эксплуатационных затрат на геотермальные установки для теплоснабжения без учета экономии традиционных топливно-энергетических ресурсов, расходуемых при обычном отоплении от котельных. Заметим, что по оценке авторов для получения тепла, равного 1 Гкал, необходимо использовать, например,  $1,228 \text{ м}^3$  древесного топлива, либо 0,517 тонны торфяного брикета, либо 0,278 тонны бурого угля, либо 0,143 тонны каменного угля, либо  $86,5 \text{ м}^3$  природного газа. Таким образом, при сложившихся ценах на рынке экономия от указанных видов топлива при замене их геотермальной энергией составит в среднем 19,707 долларов в расчете на 1 Гкал. Например, при отапливаемой площади здания  $75 \text{ м}^2$  и потребности тепла за отапливаемый период в 14,3276 Гкал использование геотермальных ресурсов обеспечит экономию традиционных топливных ресурсов на сумму 282 долларов. За 25 лет эксплуатации геотермальной установки в зависимости от размера отопительной площади здания (от  $75$  до  $475 \text{ м}^2$ ) экономия от традиционных видов топлива может колебаться от 7050 ( $14,3276 \times 19,707 \times 25$ ) до 37711 ( $75,5436 \times 19,707 \times 25$ ) долларов за отопительный сезон. Учет экономии традиционных видов топлива значительно повышает экономическую эффективность использования геотермальных ресурсов территории (таблицы 3 и 4).

Таким образом, выполненные расчеты оценки экономической эффективности использования геотермальных ресурсов в Беларуси показывают, что вложение инвестиций в их освоение, может быть вполне окупаемым как по чистому доходу, так и по чистому дисконтированному доходу. Величина окупаемости инвестиций находится в тесной зависимости от глубины скважин и отапливаемой площади. При этом использование геотермальной энергии обеспечивает экономию традиционных видов топлива в среднем 20 долларов США в расчете на 1 Гкал.

Вместе с тем отмечаем, что каждый объект освоения геотермальной энергии требует предварительного более конкретного исследования геолого-геотермических условий и экономического обоснования в пределах каждого региона.



Важным моментом является поиск инвесторов для финансирования строительства новых геотермальных установок. Практика показывает, что в странах, где успешно ведутся работы по освоению геотермальной энергии, созданы специализированные организации по обеспечению всего комплекса проектно-изыскательских, строительных и эксплуатационных работ. Они также занимаются и поиском инвесторов при активной поддержке государственных органов управления. Так в Польше созданы акционерные общества *Geotermia Mazowiecka*, *Geotermia Podhalianska*, *Geotermia Unejow* [10]. В Литве создана соответственно самостоятельная организация “*Geoterma*”, а также частная компания “*Thermia*”. Первая из них владеет Клайпедской геотермальной станцией, а вторая занимается обоснованием, проектированием, монтажом геотермальных систем с использованием тепловых насосов для небольших потребителей (коттеджи, частные дома и т.п.). Необходима разработка соответствующих нормативно-правовых актов, относящихся к стимулированию использования геотермальной энергии в стране.

На сегодня Беларусь отстает от соседних стран в использовании нового возобновляемого источника экологически чистой энергии – подземного тепла. Сдерживающим фактором этому является ограниченность финансовых средств, выделяемых для детального изучения геотермальных ресурсов для всей территории страны, проектирования и строительства конкретных геотермальных станций в регионе, а также экономического исследования данной проблемы.

Практика многих стран показывает, что использование возобновляемого ресурса – геотермальной энергии экономически выгодно, удешевляет почти вдвое выработку тепловой энергии, что снижает использование традиционных видов топливных ресурсов. Нужны соответствующие научные проработки и для условий Беларуси.

## **Выводы**

Возобновляемые ресурсы подземного тепла, содержащиеся в недрах Беларуси, представляют собой экологически чистый источник геотермальной энергии. Практика использования этого источника с помощью приблизительно 100 теплонасосных установок показала привлекательность этого вида природного тепла.

Выполненные расчеты оценки экономической эффективности использования геотермальных ресурсов в Беларуси показывают, что вложение инвестиций в их освоение, может быть вполне окупаемым как по чистому доходу, так и по чистому дисконтированному доходу. Величина окупаемости инвестиций находится в тесной зависимости от глубины скважин и отапливаемой площади. При этом использование геотермальной энергии обеспечивает экономию традиционных видов топлива в среднем 20 долларов США в расчете на 1 Гкал.

Вместе с тем отмечаем, что каждый конкретный объект освоения геотермальной энергии требует предварительного более конкретного исследования условий залегания геотермальных ресурсов и экономического обоснования в пределах каждого региона.

## Литература

1. Goldstein, B., G. Hiriart, R. Bertani, C. Bromley, L. Gutiérrez-Negrín, E. Huenges, H. Muraoka, A. Ragnarsson, J. Tester, V. Zui. Geothermal Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1544 p.
2. Lund J.W., D.H. Freeston, T.L. Boyd Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review / Proceedings World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 25-29 April 2010, 23pp.
3. Allan Mahler and Jesper Magtengaard Country Update Report for Denmark / Proceedings World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 25-29 April 2010, 9 pp.
4. Kępińska B. Geothermal Energy Country Update Report from Poland, 2005 – 2009 / Proceedings World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 25-29 April 2010, 8pp.
5. EurObserv'ER: Barometre Pompes A Chaleur – Heat Pump Barometer, Systemes Solaires le journal des energies renouvelables, No. 193 (October, 2009).
6. Anonymous. The voice of geothermal energy in Europe / EGEC News. Issue No. 15, July/August 2011. P. 2-3.
7. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / Коллектив авторов: П.П. Безруких, Ю.Д. Арбузов, Г.А. Борисов и др. Наука, 2002. – 314 с.
8. Зуй В.И., Грибик Я.Г. Геотермальные ресурсы Беларуси и их использование / Энергетическая стратегия, № 8(14) март-апрель 2010, С. 35 – 39.
9. Zui V.I. Geothermal Resources and their Utilization in Belarus / Литосфера, 2010. - № 1(32). С. 116 – 127.
10. Balcer, M., 2000. Infrastruktura techniczna zakładu geotermalnego w Mszczonowie / Międzynarodowe seminarium na temat: Rola energii geotermalnej w zrównoważonym rozwoju regionów Mazowieckiego i Łódzkiego. Osuchów 4-6 października 2000 r., Kraków 2000, pp.107-114.
11. Дядькин Ю.Д., Богуславский Э.И., Вайнблат А.Б. и др. Геотермальные ресурсы СССР. М.: ВСЕГЕИ, 1991. С. 168-176.
12. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / Коллектив авторов: П.П. Безруких, Ю.Д. Арбузов, Г.А. Борисов и др. Наука, 2002. – 314 с.
13. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М.: Экономика, 200. – 63с.
14. Правила стоимостной оценки месторождений полезных ископаемых / Технический кодекс установившейся практики. Издание официальное. Минск, 2008, С. 27

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларуси

<sup>2</sup>Республиканское унитарное предприятие

«Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт»

**Таблица 3 -Экономическая оценка использования геотермальных ресурсов (прогноз на 25 лет)**

Показатели	Ед. изм.	Размер здания по отапливаемой площади, м <sup>2</sup>								
		до 100	до 150	до 200	до 250	до 300	до 350	до 400	до 450	до 500
Средний размер отапливаемой площади	м <sup>2</sup>	75	125	175	225	275	325	375	425	475
Потребность в тепле в месяц	Гкал	2,0468	3,1578	4,2688	5,3798	6,4908	7,6018	8,7128	9,8238	10,9348
Потребность в тепле за отопительный период (7 месяцев)	Гкал	14,3276	22,1046	29,8816	37,6586	45,4356	53,2126	60,9896	68,7666	76,5436
Тепловая мощность насосов	кВт	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0
Коэффициент преобразования тепла (COP или КПД)	коэф.	4,0	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2
Глубина скважин	м	25	28	31	35	40	50	55	60	65
Стоимость установки тепловых насосов (оборудование, бурение скважин и монтажные работы)	долл.	10870	12073	13360	15219	17393	21742	23915	26089	28258
Цена 1 Гкал	долл.	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38
Стоимость тепла за отопительный период	долл.	1137	1755	2372	2989	3607	4224	4841	5459	6076
Годовые текущие расходы на электроэнергию	долл.	475	712	949	1130	1356	1592	1808	2034	2260
Годовые прочие текущие расходы	долл.	5	8	11	13	15	18	20	23	25
Годовая амортизация	долл.	435	483	534	609	696	870	957	1044	1130
Годовая балансовая прибыль	долл.	222	552	878	1237	1540	1744	2056	2358	2661
Годовой чистый доход	долл.	657	1035	1412	1846	2236	2614	3013	3402	3791
Накопленный чистый доход (за 25 лет)	долл.	5555	13802	21940	30931	38507	43608	51410	58961	66517
Чистый дисконтированный доход (за 25 лет)	долл.	5963	9395	12817	16756	20296	23727	27348	30879	34410
Накопленный чистый дисконтированный доход (за 25 лет)	долл.	-4907	-2679	-544	1537	2903	1985	3433	4790	6152
Индекс рентабельности инвестиций	%	0,55	0,78	0,96	1,10	1,17	1,09	1,14	1,18	1,22
Срок окупаемости: по накопленному чистому доходу по накопленному чистому дисконтированному доходу	лет	17,54	12,66	10,46	9,24	8,78	9,32	8,94	8,67	8,45
	лет	> 26	> 26	> 26	19,26	16,79	19,71	17,57	16,29	15,36
Внутренняя норма доходности	%	4,04	7,31	9,60	11,59	12,48	11,45	12,18	12,69	13,11
Годовая экономия традиционных топливных ресурсов (в среднем)	долл.	282	436	589	742	900	1049	1202	1355	1508
Годовой чистый доход	долл.	939	1471	2001	2588	3136	3663	4215	4757	5299
Накопленный чистый доход (за 25 лет)	долл.	12605	24702	36665	49481	61007	69833	81460	92836	104217
Чистый дисконтированный доход (за 25 лет)	долл.	8523	13352	18163	23491	28465	33248	38259	43178	48098
Накопленный чистый дисконтированный доход (за 25 лет)	долл.	-2347	1279	4803	8272	11072	11506	14344	17089	19840

**продолжение таблицы 3**

Показатели	Ед. изм.	Размер здания по отапливаемой площади, м <sup>2</sup>								
		до 100	до 150	до 200	до 250	до 300	до 350	до 400	до 450	до 500
Индекс рентабельности инвестиций	%	0,78	1,11	1,36	1,54	1,64	1,53	1,60	1,66	1,70
Срок окупаемости: по накопленному чистому доходу	лет	12,58	9,21	7,68	6,88	6,55	6,94	6,67	6,48	6,33
по накопленному чистому дисконтированному доходу	лет	> 26	19,04	12,57	10,32	9,50	10,46	9,80	9,35	9,00
Внутренняя норма доходности	%	7,40	11,66	14,59	16,92	18,03	16,74	17,61	18,23	18,73

**Таблица 4 – Экономическая эффективность использования геотермальных ресурсов в зависимости от глубины скважин и с учетом экономии традиционных видов топлива**

Показатели	Ед. изм.	Глубина скважин, м			
		25	50	75	110
1, Отапливаемая площадь – 125 м²:					
инвестиции	долл.	12073	13753	15373	17668
накопленный чистый доход	долл.	24702	23022	21402	19107
накопленный чистый дисконтированный доход	долл.	1279	-401	-2021	-4316
внутренняя норма доходности	%	11,66	9,72	8,57	6,95
индекс рентабельности инвестиций	коэф.	1,11	0,97	8,57	6,95
срок окупаемости инвестиций:					
по накопленному чистому доходу	лет	9,2	10,4	11,5	13,0
по накопленному чистому дисконтированному доходу	лет	19,0	более 25	более 25	более 25
2. Отапливаемая площадь – 225 м²:					
инвестиции	долл.	15219	17319	19419	22302
накопленный чистый доход	долл.	49481	47381	45281	42398
накопленный чистый дисконтированный доход	долл.	8272	6172	4072	1189
внутренняя норма доходности	%	16,92	14,56	13,01	10,88
индекс рентабельности инвестиций	коэф.	1,54	1,36	1,21	1,05
срок окупаемости инвестиций:					
по накопленному чистому доходу	лет	6,9	7,7	8,5	9,6
по накопленному чистому дисконтированному доходу	лет	10,3	12,6	15,6	21,8
3. Отапливаемая площадь – 475 м²:					
инвестиции	долл.	28258	32158	36058	41408
накопленный чистый доход	долл.	104217	100317	96417	91067
накопленный чистый дисконтированный доход	долл.	19840	15940	12040	6690
внутренняя норма доходности	%	18,73	16,30	14,35	12,42
индекс рентабельности инвестиций	коэф.	1,70	1,50	1,33	1,16
срок окупаемости инвестиций:					
по чистому доходу	лет	6,3	7,1	7,8	8,8
по чистому дисконтированному доходу	лет	9,0	10,8	13,0	17,0

**А.В. Унукович, В.И. Зуй, П.Б. Цалко**

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

*В работе приведены результаты экономической эффективности использования геотермальных ресурсов территории Беларуси, в этой связи проанализированы возможности применения доходного метода, учитывающего будущие ожидания относительно инвестиций, текущих затрат и цен, включающих в себе рыночный аспект. Показатели экономической ценности геотермальных ресурсов определены в зависимости от глубины скважин и площади зданий и других объектов. Полученные результаты предназначены для экономического обоснования использования геотермальных ресурсов применительно к конкретным объектам. Выполненные расчеты оценки экономической эффективности использования геотермальных ресурсов в Беларуси показывают, что вложение инвестиций в их освоение, может быть вполне окупаемым как по чистому доходу, так и по чистому дисконтированному доходу. Величина окупаемости инвестиций находится в тесной зависимости от глубины скважин и отапливаемой площади. При этом использование геотермальной энергии обеспечивает экономию традиционных видов топлива в среднем 20 долларов США в расчете на 1 Гкал.*

**A.V. Unukovich, V.I. Zui, P.B. Tsalko**

## **COST-EFFECTIVE USE GEOTHERMAL RESOURCE AREA OF BELARUS**

*This paper presents the results of cost-effectiveness of geothermal resources in Belarus, in this context are analyzed the possibility of using the income method, taking into account future expectations concerning investments, operating costs and prices, including a market perspective. Indicators of the economic value of geothermal resources are defined depending on the depth of wells and area of buildings and other facilities. The results obtained can be used for feasibility study of geothermal resources in relation to specific projects.*

*Calculations of economic effectiveness to use geothermal resources in Belarus evidence that investment of money into their utilization could result in a payback from the point of view both the net effective income and the net present value. The recoupment of a capital investment value closely depends on borehole depths and heated areas. Geothermal energy utilization provides an economy of traditional fuels on average of \$US20/Giga-calorie.*